MASTER
NEGATIVE
NO. 93-81223-5

AUTHOR:

MARX, ERICH

TITLE:

GRENZEN IN
DER NATUR...

PLACE:

LEIPZIG

DATE:

1908

Master Negative #

93-81223-5

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARIES
PRESERVATION DEPARTMENT

BIBLIOGRAPHIC MICROFORM TARGET

Original Material as Filmed - Existing Bibliographic Record

Marx, Erich, 1874-

Grenzen in der natur und in der wahrnehmung, vom standpunkte der elektronentheorie und des elektromagnetischen weltbildes; akademische antrittsvorlesung gehalten am 2. november 1907, von Erich Marx ... Leipzig, Teubner, 1908.

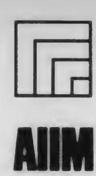
31 p. 19 cm in 24 cm.

Volume of pamphlets

Restrictions on Use:

TECHNICAL MICROFORM DATA

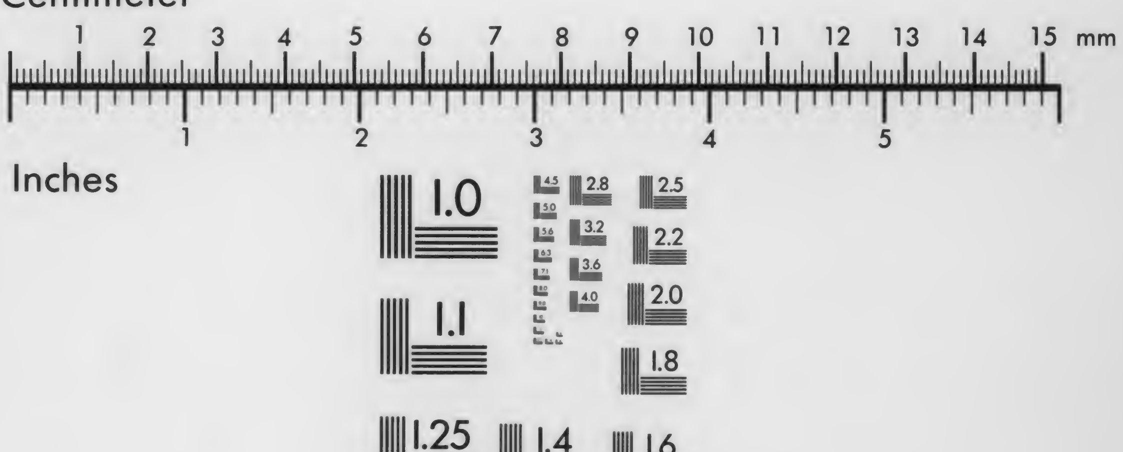
FILM SIZE: 35mm REDUCTION RATIO: 11X
IMAGE PLACEMENT: IA (IIA) IB IIB
DATE FILMED: 3-29-93 INITIALS BE
FILMED BY: RESEARCH PUBLICATIONS, INC WOODBRIDGE, CT



AIIM

Association for Information and Image Management
1100 Wayne Avenue, Suite 1100
Silver Spring, Maryland 20910
301/587-8202







MANUFACTURED TO AIIM STANDARDS
BY APPLIED IMAGE, INC.

ERICH MARX:

GRENZEN IN DER NATUR UND IN DER WAHRNEHMUNG

1908

15

GRENZEN IN DER NATUR UND IN DER WAHRNEHMUNG

VOM STANDPUNKTE
DER ELEKTRONENTHEORIE UND DES
ELEKTROMAGNETISCHEN WELTBILDES

AKADEMISCHE ANTRITTSVORLESUNG

GEHALTEN AM 2. NOVEMBER 1907

VON

ERICH MARX

A. O. PROFESSOR DER PHYSIK AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG

MIT EINER VORBEMERKUNG, ZUSÄTZEN UND LITERATURANGABE



LEIPZIG
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER
1908

Vorbemerkung.

Das „Elektromagnetische Weltbild“ ist das Erklärungsprinzip der Naturvorgänge, welches versucht, die Einheitlichkeit der Beschreibung der Naturvorgänge auf alleiniger elektromagnetischer Basis zu erreichen. Wir sind noch weit davon entfernt, dieses Ziel der elektromagnetischen Deutung aller Naturvorgänge heute als wirklich erreicht betrachten zu können. Die Kompliziertheit des Hypothesensystems, welches aus der Forderung entspringt, „daß die Folgen der Bilder, welche wir uns von den Dingen machen, wieder die Bilder der Folgen seien“, ist heute für das „Elektromagnetische Weltbild“ noch beträchtlich genug, um noch manchen Physiker vielleicht mehr für das früher allein bestehende „Mechanische Weltbild“ einzunehmen. Dieses „Mechanische Weltbild“, das wohl seinen prägnantesten Ausdruck in Hertz' „Prinzipien der Mechanik“ gefunden hat, versucht das Ziel der Einheitlichkeit der Beschreibung der Naturvorgänge auf Grund der Gesetze der Mechanik ponderabler Körper, und deutet die elektromagnetischen Vorgänge mechanisch. Den umgekehrten Gang schlägt das „Elektromagnetische Weltbild“ ein.

Was in diesem Vortrage, relativ gemeinverständlich, dargelegt werden sollte, ist, daß die heutigen Erfahrungstatsachen der Zulässigkeit des Bildes nicht widersprechen, daß also die obige Forderung, die (wie das im folgenden zitierte) in den Worten von Heinrich Hertz wiedergegeben ist, erfüllt ist. Ob das Bild, das sich die heutige Physik von den Naturvorgängen macht, auch eindeutig ist, das ist freilich auch bei Erfüllung dieser Forderung nicht erwiesen; ob es zweckmäßig ist, „dafür gibt es überhaupt keine eindeutige Entscheidung, sondern es können Meinungsverschiedenheiten bestehen“. So berechtigt hier auch heute noch Meinungsverschiedenheiten sein mögen, so

steht es doch jedem so lange frei, ein Bild, das nach seiner Meinung zweckdienlich ist, für die Darstellung irgend welcher Konsequenzen, die sich aus ihm ergeben, zugrunde zu legen, als die gegenwärtige Erfahrung der Richtigkeit des Bildes nicht widerspricht. „Diese Richtigkeit läßt sich eindeutig entscheiden, aber nur nach dem Stande unserer gegenwärtigen Erfahrung und unter Zulassung der Berufung an spätere weitere Erfahrung.“ Diese Reservatio, die, so oft es nur angängig erschien, auch in diesem Vortrage Ausdruck gefunden hat, sie kann nicht oft genug und nachdrücklich genug betont werden; um den Vorwurf, sie nicht hinreichend betont zu haben, zu vermeiden, sei sie hier ausdrücklich vorausgeschickt!

Die Vorstellung von Raum und Zeit erscheint a priori mit dem Begriff des Grenzenlosen verkoppelt. Es erscheint schlechterdings mit den Formen, in denen wir denken, der Gedanke unvereinbar zu sein, daß die Zeit oder der Raum in Hinsicht ihrer Ausdehnung Grenzen haben, die nicht überschritten werden können. Das gilt nach oben wie nach unten; d. h. es erscheint ebenso undenkbar eine Grenze anzugeben, über die hinaus wir sie nicht ausdehnen können, als wie eine Grenze aufzustellen, unter welche sie nicht mehr geteilt werden können.

Diese hier erwähnte Paarung des Begriffes der Existenzmöglichkeit jeglicher Größe mit dem abstrakten Begriffe von Raum und Zeit erscheint unserem Denken so selbstverständlich mitgegeben, daß wir geneigt sind, sie auch auf den Ablauf der Prozesse im Räumlichen und Zeitlichen geschehen, zu übertragen. Wohl können wir uns für spezielle Naturerscheinungen vorstellen, daß für den zeitlichen Ablauf oder die räumliche Ausdehnung obere oder untere Grenzen existieren, nicht aber können wir uns von vornherein vorstellen, daß für den zeitlichen Ablauf oder für die räumliche Ausdehnung irgendeines beliebigen Vorkommnisses in der Natur bestimmt angebbare Grenzen gesetzt zu sein scheinen, die überhaupt nicht überschritten werden können. Solche Grenzen aber existieren nach dem heutigen Stande des physikalischen Weltbildes, das auf der Elektronentheorie beruht. Wenn dieses Weltbild auch noch nicht überall bewiesen ist, so ist es doch nirgends in Widerspruch mit der Erfahrung. Nehmen wir es aber an, so sind

die Grenzen in der Natur und der Wahrnehmung vielfach angebbar innerhalb dessen, was uns bis heute von der Natur bekannt ist. Angenommen, wir könnten die „Erweiterung unserer Sinne“ weit, weit über das Maß vergrößern, das uns heute möglich ist, indem wir, wie Herr Wiener[1]) dies so schön an dieser Stelle ausgeführt hat, die Empfindlichkeitsschwelle unserer Apparatur um das Vielfache erhöhen würden, so würden wir hiermit wohl den Genauigkeitsgrad der Beobachtung verbessern, wir würden aber in qualitativer Hinsicht mit dieser Vervollkommnung dann nichts neues mehr erreichen, wenn die Empfindlichkeit bereits über der Grenze des Vorkommens einer Naturerscheinung liegt, deren qualitativem Nachweis der Apparat dienen soll.

Ich will hier von Grenzen in der Natur und von den Grenzen in der sinnlichen Wahrnehmbarkeit sprechen, und werde zeigen, daß die qualitative Empfindlichkeitsschwelle unserer Sinne bereits soweit geht, daß sie, so seltsam es klingt, zum Teil imstande wäre, die Existenz von Erscheinungen nachzuweisen, die jenseits der Schwelle liegt, die nach unserem heutigen Wissen in der Natur existiert, daß aber auch das Umgekehrte der Fall ist, daß also Erscheinungen nach unserer heutigen Kenntnis notwendig existieren, die wir nicht nachzuweisen imstande sind. Meine heutigen Ausführungen geben also in gewissem Sinne, in ihrem Zusammenhange eine Beantwortung der Frage nach der Zweckdienlichkeit eines weiteren Strebens nach Vervollkommnung der Apparate, die qualitativem Nachweise dienen, und sind als solche im innern und äußern Zusammenhang mit den seinerzeitigen Ausführungen des Wienerschen Vortrages aus dem Jahre 1900.

Wir wollen uns zunächst mit der Frage nach dem zeitlichen Ablauf der Naturerscheinungen beschäftigen. Die Fragestellung, die sich hier ergibt, geht dem eben Gesagten nach, in zwei Richtungen. Wir fragen: 1. Gibt es für den zeitlichen Ablauf der Naturerscheinungen endliche Grenzen? und 2. Sind die Grenzen der Wahrnehmbarkeit innerhalb oder außerhalb der Grenzen des Geschehens? d. h. sind wir im Besitze von Apparaten, mit denen es möglich wäre, zeitliche Vorgänge zu messen, die nach der heutigen Erkenntnis in der uns umgebenden Welt jenseits der Grenzen liegen, die existieren? Da die ganze Frage offenbar nur einen Sinn hat für die obere Grenze, also für die kürzesten Zeiten des Ablaufs eines Ereignisses, so reduziert sie sich in ihrem ersten Teil auf folgende: gibt es Vorgänge in der Natur, die sich unendlich schnell vollziehen, oder ist der zeitliche Ablauf an eine bestimmte Grenze gebunden, die durch kein Geschehnis überschritten werden kann?

Es ist bekannt, daß nach Entdeckung des Newtonschen Gesetzes eine Periode die Naturforschung beherrschte, die in der Feststellung der wirkenden Kräfte und deren Abhängigkeit von der Entfernung das alleinige und letzte Problem der Naturforschung sah. Helmholtz formulierte nach 1847[2]) in der Einleitung zu der Abhandlung: „Über die Erhaltung der Kraft“ die Aufgabe der Naturforschung folgendermaßen:

> „Es bestimmt sich also endlich die Aufgabe der physikalischen Naturwissenschaften dahin, die Naturerscheinungen zurückzuführen auf unveränderliche anziehende und abstoßende Kräfte, deren Intensität von der Entfernung abhängt. Die Lösbarkeit dieser Aufgabe ist zugleich die Bedingung der vollständigen Begreifbarkeit der Natur.“

Wie die Kräfte wirken oder wodurch sie wirken war eine Fragestellung, die erst später aufkam, als es sich ergab, daß sich die Wirkungsweise einiger, bereits lange bekannter Kräfte, die in den optischen, in den elektrischen und in den magnetischen Erscheinungen zutage treten, aus den Eigenschaften

des Lichtäthers gemeinsam und einheitlich erklären lassen. Diese Entdeckung, die durch Faraday vorbereitet, durch Maxwell logisch gefestigt, und durch Heinrich Hertz experimentell bewiesen wurde, ließ die Wirkungsweise der Kräfte als Zentralkräfte, als eine Folgerung der spezifischen Eigenschaften des Äthers erscheinen. Hierdurch wurde die Naturerklärung wesentlich einheitlicher, weil getrennte Erscheinungen durch ein, bereits vorher als unentbehrlich erkanntes Erklärungsprinzip, den Äther, zusammengefaßt wurden. Es wurde die Wirkungsweise der obengenannten Kräfte, als an das Vorhandensein des Lichtäthers gebunden, erkannt und hierdurch evident, daß ihre Ausbreitung an die Zeiten gebunden sind, die durch die spezifischen Eigenschaften des Äthers bestimmt sind. Diese Zeiten sind endlich. Während man also früher eine unvermittelte Fernwirkung, d. h. eine momentan wirkende elektrostatische oder auch magnetische Kraft für möglich, ja mit Recht für unumgänglich notwendig hielt, wollte man die Gültigkeit des dritten Newtonschen Axioms, der Gleichheit von Aktion und Reaktion, ohne Annahme äußerst komplizierter, verborgener Systeme, als allgemein in der Natur bestehend, annehmen, so gab man jetzt die Möglichkeit, einer Fernwirkung für die elektrischen und magnetischen Kräfte, infolge der Hertzschen Entdeckungen auf.[3]) Durch die Erkenntnis, daß der Lichtäther die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen und magnetischen Kraft bestimmt, wurden endliche Grenzen für die Zeit angebbar, die nötig ist, damit eine, an einer Stelle des Raumes erscheinende Kraftäußerung, an einer anderen Stelle auftritt. Die obere Grenze, mit der dies, nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnis, geschehen kann, ist nach den Eigenschaften, die dem Äther spezifisch sind, die Lichtgeschwindigkeit. Es ist also nach der Maxwellschen Theorie für die elektrische Kraft eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde möglich, während $^1/_3$% (etwa die Fehlergrenze der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit) größerer Wert, unmöglich ist.

Dieser hier auftretende Grenzwert für den zeitlichen Ablauf schien nun lange Zeit nur für die elektrischen, magnetischen und optischen Erscheinungen gültig zu sein, und alle Versuche, die Einheitlichkeit der Naturbetrachtung zu vervollständigen, indem man auch alle anderen Erscheinungen der Kräfte in der Natur, vor allem die der Schwere, auf die Eigenschaften des erregten Lichtäthers zurückzuführen versuchte, scheiterten an der Unmöglichkeit, für die Gravitation eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit anzunehmen, die mit der des Lichtes übereinstimmt. Laplace[4]) glaubte, daß man der Schwerkraft eine Ausbreitungsgeschwindigkeit zuschreiben müsse, die millionenmal so schnell wäre, wie die des Lichtes; wäre diese Annahme richtig, so wäre dadurch eine einheitliche Erklärung der Kräfte in der Natur unmöglich gemacht.

Nun aber hat die Entdeckung des Elektrons und seiner Eigenschaften immer mehr dazu geführt, daß die, sich als Trägheit äußernde Schwerkraft der bewegten Materie, als eine Erscheinung des Äthers gedeutet werden kann, und man ist so zu Ansätzen gelangt, welche eine elektromagnetisch begründete irdische Mechanik als logisch möglich und physikalisch wahrscheinlich erscheinen lassen. Der Gedankengang, der hierzu führt, ist kurz folgender: Die Materie baue sich auf aus Elektronen. Da das bewegte Elektron einen elektrischen Strom darstellt, so ist seine Bahn von magnetischen Kraftlinien umschlungen. Jede Änderung der Bewegung muß also Elektromotorische Kräfte hervorrufen, die wir in der Elektrizität als die der Selbstinduktion, in der Mechanik als Trägheit wahrnehmen.[15]) Diese elektromagnetische Auffassung der in der Mechanik auftretenden Kräfte bedeutet einen großen Schritt in dem Streben nicht nur nach Einheitlichkeit, sondern auch nach Vereinfachung der Naturerscheinungen. Der Begriff der Masse und ihrer Träg-

heit, der bisher neben dem der elektromagnetischen Kräfte und Ladungen selbständig bestand, verliert jetzt seine Selbständigkeit, und wird eine Folge des Zusammenwirkens von Ladung und elektromagnetischer Kraft. Die Entscheidung, ob diese elektromagnetische Auffassung richtig ist, konnte erst erbracht werden, als man Elektronen kennen lernte, die sich mit Geschwindigkeiten bewegen, die nahe an die Lichtgeschwindigkeit herankommen. Das wird klar, wenn man bedenkt, daß die Selbstinduktion alias die elektromagnetische Masse, die vom elektromagnetischen Felde herrührt, wie das Feld selbst, von der Geschwindigkeit abhängen muß, mit welcher das Elektron den Äther durchfliegt. Bei langsamen Bewegungen ist die Änderung, welche die elektromagnetische Masse bei der Bewegung erleidet, zu gering, um wahrgenommen zu werden; wäre das nicht der Fall, so wäre der ganze Gedankengang unmöglich, da ja bekanntlich die Masse der gewöhnlichen Mechanik sich unabhängig von der Bewegung ergibt. Als man aber sehr schnell sich bewegende Elektronen in den β-Strahlen des Radiums kennen lernte, war die Bedingung für eine Untersuchung nach der Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit gegeben, und es ließ sich die Entscheidung fällen, ob die Trägheit des Elektrons elektromagnetisch sei oder nicht.

Die Versuche von Kaufmann[6]) haben hierfür den Beweis erbracht, und auf anderem Wege hat Lenard[7]) Versuche angestellt, welche die Berechtigung erweisen, daß man die für schnelle Elektronen gewonnenen Schlüsse auf die ruhende Materie ausdehnen darf. Er zeigte, daß aus seinen Absorptionsmessungen an schnellen und langsamen Elektronen folgt, daß ein cbm Platin bis auf den 10^{-9}ten Teil, also bis auf ein cbmm, sicher keine wahre, sondern nur elektromagnetische Masse enthält. Daß diese geringfügige wahre Raumfüllung der Körper mit Polpaaren, den „Dynamiden“ nach Lenards Bezeichnung, nicht sofort sinnlich in ihrer Geringfügigkeit wahrnehmbar ist, liegt daran, daß diese Polpaare genau wie die Atome und Moleküle Eigenbewegungen haben. Würde man sie ihnen nicht zuschreiben, so wäre die Greifbarkeit und gegenseitige Undurchdringlichkeit der Materie, kurz ihr Volumen, unverständlich.

Auch die strenge mathematische Analyse hat, durch diese Entdeckungen angeregt, namentlich durch Abrahams[8]) Verdienst die Möglichkeit einer vollständigen elektromagnetischen Deutung der Prinzipien der Mechanik dargetan. So blieb denn für eine einheitliche Auffassung des Wirkens der uns bekannten Kräfte vor allem die elektromagnetische Deutung der Gravitation übrig.

Hier hat H. A. Lorentz einen Versuch[9]) gemacht, der mit der Erfahrung, soweit sich das bisher kontrollieren läßt, nicht in Widerspruch, und für das physikalische Weltbild von größter Bedeutung ist. Lorentz nimmt an, daß ungleichnamige Elektrizitätsmengen sich um ein ganz Geringes kräftiger anziehen, als gleichartige sich abstoßen. Die Differenz ist so gering, daß sie heutzutage jenseits der Apparatempfindlichkeit liegt. Aber trotzdem resultiert auf diese Weise eine anziehende elektrostatische Kraft zwischen ungeladenen, sich aus gleichviel positiven wie negativen Elektrizitätsmengen zusammensetzenden Körpern, die hinreichend ist, um die Newtonsche Anziehung zu erklären. Diese Hypothese führt wirklich zur Gravitationskonstanten. Das muß deshalb zunächst erstaunen, weil in schneller Bewegung befindliche Ladungen, die ja die Materie aufbauen, Kräfte im Äther erzeugen, die mit der Geschwindigkeit der Bewegung zunehmen. Aber trotz der großen Umlaufsgeschwindigkeit der Planeten um die Sonne, die bei der Erde etwa 30 km in der Sekunde, also 108000 km in der Stunde beträgt, und trotz der Bewegung des ganzen Sonnensystems, und trotzdem auch, wie erwähnt, die träge Masse der Planeten nach der elektromagnetischen Theorie von der Geschwindigkeit abhängt, erhält man für unser Sonnensystem, wie Lorentz zeigte, Resultate, die so wenig von den astronomischen Daten ab-

weichen, daß man die Lorentzsche Hypothese als den astronomischen Erfahrungen nicht widersprechend bezeichnen muß. Daß sie auch sonst den physikalischen Erfahrungen nicht widerspricht, das hat erst kürzlich Herr Gans[10]) gezeigt. Dann aber würde folgen, daß auch die Gravitationskraft elektrischer Natur ist, daß es hiermit, nach unserer heutigen Kenntnis, keine Kräfte gibt, die sich im Raume mit einer Geschwindigkeit ausbreiten, welche größer wäre, als die Lichtgeschwindigkeit.

Also kann man hiernach sagen, daß die bisherigen Erfahrungen mit der Annahme im Einklange sind, daß alle Kräfte, die nach der heutigen Kenntnis der Physik existieren, in ihrer Wirkungsweise bestimmt sind durch die Gesetze des alles durchdringenden Lichtäthers. In diesem aber ist, soweit wir wissen, keine Ausbreitung möglich, die schneller geht als 300000 km in der Sekunde.

Aus wenigen Elementen baut sich das Weltbild des heutigen Physikers auf. Die freien positiven und negativen räumlichen Ladungen, mit ihren elektromagnetischen Feldern, und der ruhende Äther, der Wellen schlägt bei ihrer Bewegung, das ist alles was Kraft und Stoff bedingt. — Möge der Fachphilosoph, wenn er ein und sein Verdienst darin sieht, auf die erkenntnistheoretische Gefahr der nicht greifbaren Träger des Weltbildes, den Physiker hinzuweisen, dort wo der Physiker vom Äther und dem Elektron spricht, andere Terminologien einführen, Terminologien, die mehr als das atomistische Elektron und das Kontinuum, der Äther, hervortreten lassen, daß beide „nur Hypothesen" sind. Aber dann muß er diesen Terminologien die zahlenmäßig angebbaren physikalischen Konstanten zuschreiben, also dem Elektron das durch die Erfahrung gegebene Verhältnis von Ladung zur Masse und dem Äther die kritische Ausbreitungsgeschwindigkeit bei der Erregung und die durch die Maxwellschen Gleichungen bestimmte Verkopplung der elektrischen und magnetischen Kraft im Infinitesimalen.

Was wir Kausalität nennen, ist, wie Helmholtz[11]) einmal gegenüber Kant ausführt, in der Tat nichts anderes als die Voraussetzung der Gesetzlichkeit der Naturerscheinungen.

> „Ursache ist . . . das hinter dem Wechsel der Erscheinungen unveränderlich bleibende oder seiende, nämlich der Stoff und das Gesetz seines Wirkens, die Kraft."

Für das gesamte mechanische Geschehen bleibt nach der Weltanschauung des heutigen Physikers der Satz richtig, wenn wir sagen:

> „Ursache des mechanischen Geschehens ist . . . das Elektron und das durch die Maxwell-Lorentzschen Gleichungen bestimmte Gesetz seiner Wechselwirkung zum Äther."

Die Grenze für die Ausbreitungsgeschwindigkeit aller Kräfte ist also nach der, auf der heutigen physikalischen Kenntnis basierenden Forschung die Lichtgeschwindigkeit. Es erhebt sich nun die Frage, ob die für die Ausbreitung der Kraft als unmöglich betrachtete Überlichtgeschwindigkeit, für die Elektronen möglich ist. Die theoretische Beantwortung dieser Frage gehört zu den interessantesten, aber auch den schwierigsten Problemen, welche die moderne Physik zu lösen versucht hat. Sie ist den Physikern Haeviside, Des Coudres, Wiechert, Paul Hertz und vor allem Sommerfeld zu danken. Es zeigt sich, daß sie verschieden ausfällt, je nach den Annahmen, die man über geometrische und physikalische Beschaffenheit des Elektrons macht. Die Zahl der Annahmen, die man hier überhaupt machen kann, um mit den Grundgleichungen der Mechanik in Einklang zu bleiben, scheint sich immer mehr als viel eingeschränkter herauszustellen, als man zunächst glauben sollte und geglaubt hat. Daß man aber überhaupt Annahmen über die Form machen muß, ist sofort ein-

leuchtend, wenn man bedenkt, daß die Energie des Elektrons unendlich groß, also physikalisch unmöglich würde, wenn seine Ladung in einem geometrischen Punkt konzentriert wäre. Die einfachste geometrische Annahme ist natürlich die Kugel. Die nächst einfache wäre in geometrischer Hinsicht das Ellipsoid. Hierzu kommt als einfachste physikalische Annahme die der Starrheit, weil alsdann weder eine innere noch eine äußere Arbeit zur Aufrechterhaltung der Form notwendig ist.

Während nun bei Annahme der Form einer starren Kugel die Bewegung des Elektrons ohne Einwirkung äußerer Kräfte vor sich gehen kann, also das erste Newtonsche Axiom gewahrt bleibt, ist das, wie Abraham[12]) gezeigt hat, nicht mehr der Fall bei der ersten Abweichung von der vollständigen Symmetrie, dem starren Ellipsoid. Will man also an der Einheitlichkeit des Weltbildes auf elektromagnetischer Grundlage festhalten, so scheint das für das starre Elektron nur möglich, wenn man vollständigste Symmetrie, also Kugelgestalt, annimmt. Die Annahme einer starren Kugelgestalt des im ruhenden Äther eingelagerten Elektrons vermag alsdann in der Tat das ganze enorme Gebiet der experimentellen Erfahrungen der physikalischen Naturwissenschaft zu beherrschen — bis auf einen Punkt. Dieser dunkle Punkt ist: Der bisher nicht beobachtete Einfluß der Erdbewegung auf die Lichtgeschwindigkeit, das sogenannte Mikelsonsche Experiment. Die Erklärung dieses Experimentes zwingt dazu, die wegen ihrer Einfachheit so verlockende Annahme der Starrheit des Elektrons aufzugeben und durch die der Deformierbarkeit zu ersetzen. — Hierauf kommen wir später zurück. — Fragt man sich aber, ob das starre kugelförmige oder das deformierbare Elektron sich mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen kann, so ist diese Frage für das deformierbare Elektron direkt zu verneinen, und sie fällt für das starre Elektron verschieden aus, je nach der Annahme über die Verteilung der Ladung auf dem Elektron; verschieden für

Oberflächen- und für Volumladung. Das ist insofern sehr bemerkenswert, als für Unterlichtgeschwindigkeit die Beobachtungen keinen Anhaltspunkt geben, welche von beiden Annahmen vorzuziehen ist.[13]) Sommerfeld[14]) und P. Hertz[15]) zeigten, mit Hilfe wohl des schwersten mathematischen Geschützes der theoretischen Physik, daß die gleichförmige Bewegung eines flächenhaft geladenen Elektrons mit Überlichtgeschwindigkeit eine unendliche Kraft erfordert, somit physikalisch unmöglich ist, daß sie aber für gleichförmige Volumladung mit endlichen Kräften erreichbar sein würde. Wenn die Kräfte, die hierzu erforderlich sind, auch immerhin dicht an der Grenze des Kraftfeldes sind, das nach der Elektronenhypothese überhaupt als möglich erscheint und weit jenseits der je beobachteten Kraftfelder liegt, so sind sie doch endlich. Daß aber dann, bei der Bewegung des Elektrons mit Überlichtgeschwindigkeit, der Selbstinduktionskoeffizient des Elektrons das Vorzeichen wechseln würde, oder, mechanisch gesprochen, daß dann die Masse des bewegten Teilchens negativ würde, das ist ein Resultat des theoretischen Physikers, das sich soweit von den Gefilden des Experimentalphysikers entfernt, daß es uns als hinlänglicher Beweis genügt für die Unmöglichkeit einer Überlichtgeschwindigkeit, auch des starren Volumladungselektrons.

Es existiert also, nach unserem heutigen Wissen, auch für die Elektronen, mithin für die ponderable Materie, die Grenze der zeitlichen Ausbreitung, die wir bereits für die Kraft als in der Natur bestehend erkannt haben, die kritische Geschwindigkeit, die Geschwindigkeit des Lichtes.

Es gibt demnach keinen zeitlichen Vorgang, der, nach unserer heutigen Kenntnis der Natur, schneller erfolgt als mit 300000 km in der Sekunde.

Wir kommen nunmehr zur Behandlung der Frage nach den Grenzen der Wahrnehmbarkeit des zeitlichen Geschehens. Man sollte zunächst denken, daß in der Un-

genauigkeit der Zeitmessung als solcher, einer beliebigen Ausdehnung der Grenzen der Wahrnehmbarkeit Schranken gesetzt sind. Denn die Zeitmessung selbst bestimmt sich ja aus der beobachteten Dauer des siderischen Tages, die periodischen und aperiodischen Schwankungen unterliegt, und ihrerseits nach dem Newtonschen Gesetze korrigiert wird. Aber diese begrenzte physikalische Genauigkeit, die hierin für die Zeitmessung liegt, hat dem Fortschritte der Erkenntnis der Natur keine Schwierigkeiten bereitet. Die Schwierigkeit liegt nicht an der beschränkten Genauigkeit der physikalischen Zeitbestimmung an einem Orte, sondern an der, durch die Apparatur bedingten Grenze der erreichbaren Genauigkeit, die sich einstellt, wenn man an zwei Orten zu gleicher Zeit wissen will, wieviel Uhr es genau ist, wann ein und dasselbe Ereignis dort eintritt. Das Problem, das hier den Physikern so große Schwierigkeiten bereitet, ist für die Entscheidung über die Festigkeit der Grundlagen des elektromagnetischen Weltbildes von größter Bedeutung, und diese Entscheidung konnte bisher zu einem Teil nicht gefällt werden, weil der Genauigkeitsgrad, der hier für die Messung der Gleichzeitigkeit verlangt wird, jenseits dessen liegt, was bisher erreicht wurde. Nach der heutigen elektromagnetischen Auffassung der Naturerscheinungen muß man den Äther als ruhend gegenüber der Materie betrachten. Das beweist ein bekanntes Experiment von Fizeau, der die Mitführung des Lichtes durch fließendes Wasser untersuchte. Im ruhenden Äther bewegt sich die Erde. Diese Bewegung ist zwar nur der 10000. Teil der Lichtgeschwindigkeit, ist aber als solcher immer noch so groß, daß wir durch keine künstlichen Mittel, auf der Erde selbst, eine so große Geschwindigkeit größeren Massen erteilen können.

Diese Erdbewegung um die Sonne durch den ruhenden Äther hat nun zur Folge, daß die Zeit, die wir für die Ausbreitung des Lichtes, das von irdischen Körpern ausgeht,

messen, verschieden ausfallen muß, ob der Lichtstrahl in Richtung der Erdbewegung geht oder entgegengesetzt. Um diesen Unterschied in den sogenannten „Lichtzeiten" Ihnen näher zu bringen, gestatten Sie mir ein Gleichnis:

Angenommen wir befänden uns in einem abgeschlossenen Raume und flögen mit großer Geschwindigkeit durch die Lüfte. Vorn, und am Ende des Raumes sei ein Fenster, und die Fenster seien zunächst völlig geschlossen. Dann ist die Luft innen ganz ruhig. Wenn wir im Raume die Schallgeschwindigkeit messen so ist sie dieselbe, als wenn der Raum feststände, trotzdem doch der Raum, also auch die eingeschlossene Luft, in sehr schneller Bewegung ist.

Jetzt aber machen wir eine zweite Messung der Schallgeschwindigkeit im Raume, bei offenen Fenstern. Dann bewegt sich die Luft nicht mit, sondern ist selbst in Ruhe; aber nun fällt die Messung natürlich verschieden aus, je nach der Richtung der Messung. Wenn wir, in Richtung der Bewegung, der ankommenden Schallwelle entgegenfliegen, so erreichen wir sie vorher, also kommt es uns so vor, als wenn die Schallgeschwindigkeit größer geworden wäre, als vorher. Dagegen bei der Messung, entgegen der Bewegung des Raumes, fliehen wir vor der Luftwelle, so daß diese uns später erreicht, als wenn wir festständen.

Dieses Gleichnis des, bei offenen Fenstern fliegenden Raumes, hat sein Analogon in der durch den ruhenden Lichtäther fliegenden Erde:

Wenn ein Punkt der Erde, an dem wir uns befinden, sich mit 30 km Geschwindigkeit in der Sek., entgegen einem Lichtstrahl, der von einem andern Punkte der Erde ausgeht, bewegt, so kommen die Lichtwellen eher in unser Auge, als wenn wir im Raume absolut festständen. Es kommt also nicht auf die relative Bewegung des leuchtenden Punktes zu unserem Beobachtungsort, sondern auf die absolute Geschwindigkeit, mit welcher der Beobachter den Raum durchfliegt und auf die Richtung, von der das Licht kommt, an,

wenn wir die Zeit messen, die das Licht braucht, um von der Erregungsstelle in unser Auge zu gelangen. Die von dem bewegten Beobachter gemessene „Lichtzeit“ ist demnach verschieden von der, die der ruhende Beobachter messen würde. H. A. Lorentz[16]) hat, um die Angabe dieser Zeiten zu unterscheiden, die des im Raume ruhend gedachten Beobachters „Ortszeit“, die des bewegten, also die wirkliche Zeit, „Allgemeine Zeit“ genannt. Wenn wir in Allgemeiner Zeit, an zwei in Richtung Ost-West liegenden Orten die Lichtzeit genau messen könnten für ein zwischen ihnen abgegebenes Signal, dann könnten wir aus der Differenz der Lichtzeiten die Geschwindigkeit der Rotation der Erde feststellen. Diese „Allgemeine Zeit“ ließe sich in der Tat messen, wenn an beiden Orten zwei Uhren sich befänden, die genau gleiche Ortszeit zeigen, aber sofort stehen bleiben oder markieren, wenn die erste Lichtwelle eintrifft. Nun läßt sich zwar durch Wechselstromkoppelung annähernd gleiche Ortszeit an zwei Stellen der Erde herstellen, aber die experimentellen Bedingungen der quantitativen Genauigkeit und des automatischen Markierens sind bisher nicht zu realisieren. In ersterer Hinsicht müßte der Gangunterschied beider Uhren so gering sein, daß sie mindestens auf $^1/_{100}$ % genau gleich gehen. Wenn wir also 10 km Lichtweg annehmen, so darf die eine Uhr nur $^1/_{3000000}$ Sekunde gegenüber der anderen nachgehen.

Eine solche Regulierung zweier Systeme ist auf kleine Entfernungen sehr wohl möglich, so ist z. B. die Geschwindigkeitsmessung der Röntgenstrahlen[17]) nur dadurch möglich geworden, daß es gelang, zwei Systeme auf mehr als den tausendsten Teil dieser Zeit, also auf mehr als ein dreimilliardstel Sekunde genau, in gleichem Takt arbeiten zu lassen. Auf große Entfernungen wächst aber die Schwierigkeit, und würde man kleine Entfernungen nehmen, so müßten die Systeme bei diesen mit derselben % Genauigkeit arbeiten, wie bei großen Entfernungen, es müßten auch diese minimalen

Zeiten auf $^1/_{100}$ % genau gemessen werden. Beides ist bisher jenseits der Grenzen, die wir mit den Apparaten erreichen! Hierzu aber kommt noch die zweite Schwierigkeit: es müßte die Ankunft der Lichtstrahlen auf diesen beiden, auf $^1/_{100}$ % der Lichtzeit genau synchronen Uhren, derart automatisch registriert werden, daß die Einstellung ohne Zeichenkontrolle zwischen den beiden Uhren erfolgen würde. Denn jedes optische oder elektrische Signal, das von der einen Stelle zur andern gesandt würde, käme wegen der physikalischen Identität von Elektrizität und Licht, eben infolge der Erdbewegung, an jeder der beiden Stellen um die Differenz der „Allgemeinen Zeit“ beider Uhren verschoben an, so daß sich gerade das eliminieren würde, was man messen wollte. Die Grenzen, die unsere Sinne heute hier in der Wahrnehmbarkeit des zeitlichen Ablaufes der Naturerscheinungen finden, sind, wie Sie sehen, quantitativer Natur. Zeiten der in Betracht kommenden Größe kann man in der Tat messen, auch wenn sie noch tausendmal kleiner sind als in unserem Beispiel, aber die geforderte Genauigkeit ist weder bei kleinen noch bei großen Entfernungen zu erreichen.

Es klingt zunächst paradox, wenn man behauptet, daß in der Zeitmessung Apparate möglich und vorhanden sind, die imstande wären, noch den Ablauf zeitlicher Vorgänge zu messen, die schneller sein könnten, als sie nach unserem heutigen Wissen in der Natur vorkommen. Das wird Ihnen aber sofort verständlich, wenn ich an den Begriff der Wage erinnere. Da läßt sich ja auch mit 1 kg Vergleichsgewicht noch 1 mg genau abwägen, wenn man die Hebelarme geeignet verändert. Der Apparat, mit welchem ich die unbekannte Geschwindigkeit der Röntgenstrahlen gemessen habe, beruht auf ähnlichem Prinzip, auf dem Vergleich der bekannten Lichtgeschwindigkeit mit der zu messenden Geschwindigkeit; werden Lichtstrahlen und unbekannte Strahlen zu gleicher Zeit ausgesandt, dann verhalten sich, bei gleichzeitiger An-

kunft an der verwendeten Uhr, die Geschwindigkeiten beider Strahlen, wie die Wege. Dieses Verhältnis ergab sich für die Röntgenstrahlen im Vergleich zu den Lichtstrahlen = 1.

Es ist aber nicht zweifelhaft, daß, wenn etwa die Röntgenstrahlen schneller sich ausbreiten würden wie das Licht, was nach den Messungen sich eben nicht ergeben hat, der Apparat selbst imstande gewesen wäre hiervon Rechenschaft zu geben, daß er also noch imstande wäre, Geschwindigkeiten zu messen, die nach heutiger Kenntnis nicht in der Natur vorkommen. — Aber die quantitative Genauigkeit auf $^1/_{100}$ % der Lichtzeit, die ist bisher jenseits der erreichbaren Grenzen.

Dagegen ist diese Genauigkeit erreichbar bei einer Experimentalanordnung, die auf Längenmessungen beruht, und ebenfalls darauf hinzielt, einen Einfluß der Erdbewegung auf die Lichtgeschwindigkeit festzustellen, und dabei eine Beziehung benutzt, die von Maxwell für ruhenden Äther zuerst abgeleitet wurde. Hierbei wird die Differenz der Lichtwege gemessen, wenn zwei kohärente Lichtstrahlen von denen einer parallel, der andere senkrecht zur Erdbewegung gerichtet ist, zur Interferenz gebracht und dann um 90 Grad gedreht werden. Dies ist das Michelsonsche[18]) Experiment. Hierbei sollte sich eine Verschiebung der Interferenzstreifen ergeben. Bei 22 m Strahlengang war, nach der Theorie des relativ zur Erde ruhenden Äthers, eine Änderung des Weges um ein Hundertmillionstel zu erwarten. Es zeigte sich aber, daß die Verschiebung 20mal kleiner war, als die erwartete, also nur ein Zweimilliardstel der Länge des Lichtweges betrug, und neuerdings haben Morley u. Miller[18]) gezeigt, daß bei weiterer Verfeinerung des Michelsonschen Experimentes die Verschiebung auf $^1/_{100}$ der erwarteten reduziert wird, also nur ein Zehnmilliardstel des Lichtweges beträgt. Das entspricht dem Genauigkeitsgrad der Messung, liegt also innerhalb der Fehlergrenzen des Apparates und ist gleichbedeutend mit einem Ausbleiben des erwarteten Effektes.

Dieses Resultat ist nun dasjenige, das wir bereits vorhin als das erwähnten, dessen Verständnis auf der Grundlage der elektromagnetischen Weltanschauung den allergrößten Schwierigkeiten begegnet. Die geistreiche Hypothese, durch die H. A. Lorentz[19]) der Sache beizukommen sucht, ist die, daß er annimmt, daß die Elektronen bei ihrer Bewegung durch den Raum sich in Richtung der Bewegung kontrahieren. Er gibt also hiermit die Starrheit des Elektrons auf, und läßt die starre Kugel sich zum Ellipsoid kontrahieren, das um so mehr abgeplattet wird, je schneller sich das Elektron bewegt. Da die Körper aus Elektronen bestehen, so kontrahieren sich die Körper selbst, und zwar genau um so viel, daß dadurch der im Michelsonschen Experiment zu erwartende Einfluß der Erdbewegung auf die Lichtwege herausfällt. Eine solche Änderung der Dimensionen der Körper, bei ihrem Fluge durch den Raum, läßt sich nicht messen, da wir keinen absolut starren, unveränderlichen oder, im Sinne der Hypothese gesprochen, „absolut ruhenden" Maßstab besitzen. Optische Messungen können auch nicht an Stelle der mechanischen gesetzt werden, da ja die Lichtwege sich gerade in gleicher Weise ändern, was eben durch die Hypothese erklärt werden soll.

Während wir also absolute Bewegungen gegenüber dem ruhenden Äther in der Elektronentheorie haben, haben wir nach dieser, auf die experimentelle Erfahrung hin aufgestellten Hypothese keine absoluten Dimensionen der Körper. Die Länge eines Körpers ändert sich fortgesetzt, da ja die Geschwindigkeit der Erde nicht völlig konstant ist; wir merken es nur nicht, weil uns der Maßstab fehlt.

Es darf nicht verschwiegen werden, daß es noch nicht sicher ist, ob diese Lorentzsche Hypothese, die in der Tat geeignet ist, den negativen Ausfall der Experimente zu erklären, die darauf hinzielen, einen Einfluß der Erdbewegung auf die Lichtgeschwindheit nachzuweisen, gerade wegen der angenommenen Formänderung des Elektrons,

eine rein elektromagnetische Erklärung der Deformation zuläßt. Die theoretischen Untersuchungen hierüber sind noch keineswegs abgeschlossen, scheinen aber ganz neuerdings für die Möglichkeit der reinen elektromagnetischen Deutung zu sprechen, nachdem dies noch kürzlich bestritten wurde.[20]) Jedenfalls ist das Lorentzsche Hypothesensystem noch das einfachste Erklärungssystem für den negativen Ausfall des Michelsonschen Experimentes.

Wenn nun, infolge der Deformationsmöglichkeit des Elektrons, auch eine gewisse Unsicherheit darüber offen bleibt, ob wir im Elektron die letzte unteilbare Einheit der Natur wirklich gefunden haben[21]), so werden wir doch unseren weiteren Schlüssen diese Einheit, als die weitaus wahrscheinlichste, zugrunde legen. Alsdann ist hiermit eine Grenze der kleinsten, existenzfähigen Raumausfüllung, und eine der maximal an einer Stelle wirkenden Kraft gegeben.

Aus dem, aus den verschiedensten Teilen der Physik sich ableitenden Verhältnis von Ladung zu Masse des Elektrons und der Ladung selbst, ergibt sich, wenn man die Masse als den Quotienten aus dem Impuls des kugelförmigen Elektrons und seiner Geschwindigkeit definiert, für den Radius des kleinsten, abgegrenzten, kugelförmigen Raumes in der Natur die Zahl $1{,}4 \cdot 10^{-13}$ cm, also in Worten der zehnbillionste Teil eines Millimeters.

Wir sind zwar nicht der Meinung, daß das direkte Sichtbarmachen der auf verschiedenen, unabhängigen Wegen indirekt erschlossenen Größen die einzige Sicherheit für die reale Existenz der Größen ist. Jede Folgerung, die unser Denkprozeß auf einen äußern Reiz hin, sei er direkt oder indirekt, zieht, ist ein Bild, das nicht kongruent oder nur geometrisch ähnlich mit dem wirklichen zu sein braucht, sondern nach einem, wer weiß wie komplizierten Abbildungsgesetz vor sich gehen kann.[22]) In diesem Sinne sind wir der Meinung, daß die Existenz der Atome und der Elektronen heute nicht

weniger sicher zu behaupten ist, als wenn man behauptet, daß die Erde sich dreht, oder auch, daß es am Nordpol kalt ist. Es ist aber immerhin im Zusammenhang mit der hier angegebenen, nach unserm heutigen Wissen kleinsten möglichen Raumabgrenzung, vielleicht die Angabe von Interesse, daß die Grenze der heute mit Hilfe des Ultramikroskops wahrnehmbar zu machenden Körperdimensionen etwa eine millionmal so groß ist, als die hier angegebene Größe des Elektrons.

Auch für die Größenordnung der Kraft, die in der Natur möglich ist, können wir aus der Elektronentheorie eine obere Grenze ableiten. Die größten Kraftfelder, die an einer Stelle des Raumes nach unserer Kenntnis existieren, sind diejenigen, welche die Materie selbst aufbauen. Es bleibt nach den bereits vorhin angegebenen Experimenten über den Aufbau der Materie, und ferner nach den Erscheinungen der Radioaktivität, kaum eine andere Vorstellung übrig, als anzunehmen, daß die Atome aus Polpaaren, die Lenard „Dynamide“ nennt, aufgebaut sind; diese bilden Kraftfelder, und sind im Atom in steter schneller Bewegung, wie ja auch das Atom und die Moleküle selbst, und täuschen so die Ausdehnung der Materie vor. Dies folgt daraus, daß schnelle Elektronen eine große Schar von Atomen durchqueren können, ohne auf ein Kraftfeld zu stoßen.[7]) Wenn wir nun die einzelnen Kraftfelder betrachten, welche, da die Materie selbst ungeladen ist, aus gleicher Zahl positiver und negativer Ladungen bestehen, und uns fragen, wie es möglich ist, daß sie nicht zusammenstürzen, und sich neutralisieren, so bleibt kaum ein anderer Ausweg, als die Annahme, daß sie mit so großer Geschwindigkeit umeinander rotieren, daß die resultierende Zentrifugalkraft den Anziehungskräften das Gleichgewicht hält. Da nun das Potential[23]) des Elektrons durch Ladung und Radius gegeben ist, so läßt sich das Kraftfeld der Polpaare für eine bestimmte Entfernung angeben, und ist natürlich um so größer,

je näher sich die Ladungen kommen können. Dieser Näherung ist aber dadurch eine endliche Grenze gesetzt, daß die Geschwindigkeit der Rotation die Lichtgeschwindigkeit nicht erreichen kann. Diese Unmöglichkeit stimmt auch in der Tat mit den Werten überein, die sich bei einer Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit für das rotierende Elektron nach obigen Annahmen, unter Zugrundelegung der Konstanten des Elektrons, ergeben würden. Denn dieser Geschwindigkeit müßte das Gleichgewicht gehalten werden durch anziehende Kräfte, die für das Elektron nur erreichbar wären, falls der Radius desselben kleiner wäre, als er sich oben aus Kugelgestalt und Quotienten aus Impuls und Geschwindigkeit, berechnete. Bei diesen so sich ergebenden Dimensionen müßte für eine rotierende Geschwindigkeit, die der Lichtgeschwindigkeit nahe kommt, eine Überdeckung der Ladungen stattfinden, was unmöglich erscheint. Die Grenze der Kraft würde alsdann, bei Annahme von Punktladungen, etwa $10^{20} \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ betragen.

Daß dieser Wert bereits außerhalb des Erreichbaren liegt, geht also aus der Notwendigkeit der Annahme der endlichen Ausdehnung des Elektrons hervor; daß er aber relativ nicht sehr beträchtlich von den wirklich vorkommenden Kräften abweicht, das lehrt die experimentelle Erfahrung. Nach ihr ist die größte Ausgangsgeschwindigkeit der β Strahlung des Radiums, die bekanntlich aus Elektronen besteht, und beim Zerfall der Materie frei wird, etwa gleich der halben Lichtgeschwindigkeit.[24]) Es ist demnach wahrscheinlich, daß das Atom instabil wird, wenn die Geschwindigkeit eines seiner integrierenden Bestandteile gleich der halben Lichtgeschwindigkeit wird. Wir wollen deshalb die Größenordnung des maximalen, wirklich vorkommenden Kraftfeldes so abschätzen, daß wir eine Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit auf 50% und die hierfür resultierende scheinbare Massenvergrößerung annehmen, und die Kraft nach dem

Coulombschen Gesetz, also sicher nicht zu klein, berechnen. Dann ergibt sich für die Größenordnung des Kraftfeldes an irgend einer Stelle des Raumes, das, quasi erfahrungsgemäß, möglich ist, die Größe von rund $4 \cdot 10^{18} \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ [25]). Spannungen dieser Größe, die hier pro cm angegeben sind, wären imstande, atmosphärische Entladungen von tausenden von Millionen Kilometern hervorzurufen.

Ich komme zum Schluß. Nicht wo die Grenze der kleinsten räumlichen Ausdehnung, des schnellsten zeitlichen Geschehens oder der Kraft liegt, ist das Wesentliche, worauf ich heute Ihre Aufmerksamkeit richten wollte, sondern, daß es überhaupt, nach der Summe der heute bekannten Erscheinungen und Erfahrungen, Grenzen des schnellsten zeitlichen Geschehens, der kleinsten Raumerfüllung, und der maximalen Kraft geben muß.

Ob diese Grenzen nur durch den Mangel einer vollständigen Kenntnis der Naturerscheinungen gegeben sind, darüber schwebt natürlich völliges Dunkel. Nur auf solche Gesetzmäßigkeiten können wir schließen, die in funktioneller Abhängigkeit mit der bisherigen Erfahrung stehen. Mag der Gang der Forschung hier Verschiebungen eintreten lassen, wie groß sie auch sein mögen; erkenntnistheoretisch ist durch die Auffindung der Wechselbeziehungen zwischen Elektronen und Äther, die die Grundlage der heutigen Ausführungen bildeten, ein Schritt getan, der heute Fragen auf experimenteller Grundlage zur Entscheidung stellt, deren Beantwortung noch jüngstens transzendental erschien. Eine solche Frage ist die nach der Entscheidung zwischen Relativität der Dimensionen der Körper und absoluter Größe. Gewiß muß die Lorentzsche Hypothese heute als „Arbeitshypothese" betrachtet werden, daß sie aber als solche, durch die experimentelle Erfahrung überhaupt aufgestellt werden konnte, und daß die Möglichkeit einer experimentellen

Entscheidung zugunsten der Relativität durch die aus der Empirie erkannte Verkettung des ruhenden Äthers mit der Materie prinzipiell möglich erscheint, ist von höchster Merkwürdigkeit und Bedeutung für die Naturphilosophie, oder sagen wir lieber, um nicht an alte und neue Deviationen zu erinnern, für die naturwissenschaftliche Erkenntnis.

Jeder der im Kreise der Universitas litterarum lebt, weiß, daß der exakte Naturforscher mit oft schwer zu verhaltender Skepsis die Versuche betrachtet, die dahin zielen, die Entscheidung über erkenntnistheoretische Probleme herbeizuführen durch Experimente oder Denkprozesse, die ihrer Natur nach, nicht wie die Mathematik oder die exakte Naturforschung, auf den einfachsten und durchsichtigsten Operationen und Erfahrungen beruhen. Diese Skepsis resultiert aus der Anerkennung der Größe der Zahl der nichtaufgeklärten Prozesse in den Erscheinungsformen der Natur, die sich in uns oder außerhalb von uns abspielen. Die Versicherung des „ignoramus" wird für den exakten Forscher, nur zu oft, zur Trivialität; aber der Fortschritt der Wissenschaft, der, außer zu Newtons Zeit, nie ein größerer war, als im letzten Dezennium, und die Widerlegung manches mit großer Emphase verkündeten „ignorabimus", läßt den Optimismus als Arbeitsprinzip nicht nur ökonomisch, sondern auch berechtigt erscheinen.

Zusätze.

1) Otto Wiener: „Die Erweiterung unserer Sinne". Akademische Antrittsvorlesung. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1900.

2) Helmholtz, Wissensch. Abh., Bd. I, p. 16. Es braucht kaum gesagt zu werden, daß Helmholtz später nicht mehr auf diesem Standpunkte stand; er ist nur charakteristisch für die angeführte Epoche. In den „Zusätzen" zu der Abhandlung, aus dem Jahre 1881, l. c. p. 68, erklärt Helmholtz, daß diese früheren erkenntnistheoretischen Ausführungen durch Kant stärker beeinflußt sind, als er jetzt für richtig halte.

3) Nicht nur das Prinzip von Aktion und Reaktion, sondern auch das der Relativbewegung ist mit einer endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Kräfte nur so lange im Einklang, als die Bewegung der Körper klein gegen die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist. Die elekromagnetischen Vorgänge hängen eben nicht nur von der Relativbewegung der materiellen Körper gegeneinander, sondern auch von ihrer absoluten Bewegung gegen den ruhenden Äther ab.

4) Laplace, Mécanique céleste 4, X, Kap. 7, p. 326, 1805, schließt aus der Mondbewegung auf diese Größe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit als einer unteren Grenze.

5) Der Konvektionsstrom, den das bewegte Elektron bildet, ist, wie ein gewöhnlicher galvanischer Strom von magnetischen Kraftlinien umschlungen, deren Feldenergie dem Quadrate der Stromstärke proportional ist. Da nun der Konvektionsstrom der Geschwindigkeit des bewegten Teilchens proportional ist, so entspricht der gegenelektromotorischen Kraft der Selbstinduktion eine Kraft, welche der Änderung der Geschwindigkeit des Elektrons, also seiner Beschleunigung, proportional ist. Diese Kraft, die der Beschleunigung entgegenwirkt, ist ein absolutes Analogon zur Trägheit in der gewöhnlichen Mechanik.

6) W. Kaufmann, Götting. Nachr., Heft 3, 1903. Phys. Z. 4, p. 55, 1902. M. Abraham, Gött. Nachr. 1902.

7) P. Lenard, Ann. d. Phys. 12, p. 743, 1903 [cf. unter 23) dieser Zusätze].

8) M. Abraham, Prinzipien der Dynamik des Elektrons, Ann. d. Phys. 10, p. 105, 1903.

9) H. A. Lorentz, Versl. K. Ac. van-Vet. 8, 603, 1900 u. 8, 616, 1900. Vgl. auch Wacker, Diss. Tübingen 1906, u. Phys. Z. 7, p. 300, 1906. — Freilich kann man nur sagen, daß die Hypothese nicht in Widerspruch ist mit dem elektromagnetischen Weltbild. Bewiesen ist sie absolut nicht, und es existiert bisher kein Anhaltspunkt für eine Prüfung. Solange über der Erklärung der Gravitation diese Unsicherheit schwebt, bleibt das elektromagnetische Weltbild ein „Programm“. [cf. M. Abraham, Lehrb. d. El. II]. Vgl. auch 10).

10) R. Gans, Phys. Z. 6, p. 803, 1905.

11) Helmholtz, Wissensch. Abh. I, p. 68.

12) M. Abraham, Theorie der Elektrizität II, p. 145 ff.

13) M. Abraham, Theorie der Elektrizität II, p. 171 ff.

14) A. Sommerfeld, Gött. Nachr. 1904, p. 99 u. 363, 1905, p. 201. Phys. Z. 7, p. 21.

15) P. Hertz, Phys. Z. 7, p. 347 ff.

16) H. A. Lorentz, Versuch einer Theorie der elektr. u. opt. Ersch., S. 102. Leyden 1895.

17) Erich Marx, Phys. Z. 6, p. 768, 1905. Ann. d. Phys. IV, 20, p. 677, 1906. Abh. d. k. sächs. Ges. d. Wissensch. 1906.

18) A. Michelson, Amer. Journal of Science (3) 34, p. 333, 1887. Phil. Mag. 24, p. 449, 1887. Während das erste angegebene Experiment, das bisher nicht durchführbar ist, einen Einfluß erster Ordnung der Erdbewegung auf die Lichtgeschwindigkeit nach der Theorie des ruhenden Äthers erwarten läßt, ist beim Michelsonschen Experiment ein Einfluß zweiter Ordnung bei Annahme des starren Elektrons zu erwarten.

Morley a Miller. Phil. May 9. p. 680 1905.

19) H. A. Lorentz, Vorsl. Kon. Ak. v. Wet. te Amsterdam. Mai 1904.

20) Die von Lorentz angenommene Deformation würde nach Abraham, Th. d. El. II, Kap. 3, eine enorme Deformationsarbeit erfordern, die sich nicht auf elektromagnetische Kräfte zurückführen lassen würde. Eine solche Deformationsarbeit ist aber nach Abraham nicht erforderlich, wenn man mit Lorentz an der Deformierbarkeit der Elektronen festhält, aber als eine weitere Hypothese die von Bucherer eingefügte Bedingung hinzunimmt, daß das Elektron sich bei konstantem Volumen kontrahiert. Eine wirklich durchgeführte „Dynamik des deformierbaren Elektrons“, wie sie von Abraham für das starre Elektron durchgeführt wurde, existiert bisher nicht. Es ist deshalb nicht möglich zu sagen, ob das elektromagnetische Weltbild mit der Deformation im Einklang ist; vgl. auch übrigens die soeben erschienene Arbeit von Cunningham im Phil. Mag. 1907.

Einstein (Ann. d. Phys. 17, p. 896, 1905) erklärt die Unabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit von der Bewegung des starren Systems durch Einführung des „Prinzips der Relativbewegung“ als Postulat; durch Anwendung dieses Postulats ergibt sich eine neue Art der Zeitdefinition. Als „gleichzeitig“ werden zwei Ereignisse bezeichnet, die in der Lorentzschen Ausdrucksweise „gleiche Ortszeit“ haben. Die „gleichzeitigen“ Längenabmessungen, die ein mit einem Körper sich bewegender Beobachter vornimmt, bleiben dann unverändert, trotz der Bewegung des Systems, in welchem Körper und Beobachter sich befinden, während sie von einem relativ zum ersten System ruhenden Beobachter genau so verändert beobachtet würden, wie es bei Lorentz infolge der Voraussetzung der Kompressionshypothese sein würde. Der große Vorteil, den diese Einsteinsche Einführung des „Relativprinzips“ als Postulat gegenüber Lorentz hat, liegt darin, daß eine Annahme über die Bewegung des ganzen Sonnensystems relativ zum Äther unnötig wird, da alle Beobachtungen, eben nach dem Postulat, im starren System unabhängig von der Translation des starren Systems werden. — Ob übrigens unter Annahme dieses Relativprinzips eine Erklärung der Gravitation nach der oben erwähnten Lorentzschen Hypothese des veränderten Coulombschen Gesetzes für die Ladungen von verschiedenem Vorzeichen, noch zu Resultaten führt, die mit den astronomischen Daten in Einklang gebracht werden können, erscheint nach der oben (9) erwähnten Arbeit von Wacker deshalb zweifelhaft, weil die Perihelverschiebung des Merkur nur durch die Annahme der in betracht kommenden, absoluten Bewegung des ganzen Sonnensystems, mit der Erfahrung in Einklang zu bringen ist. —

Über den Vorzug der Annahme einer der hier erwähnten Theorien vor der anderen, läßt sich bisher auf Grund der Beobachtungen kein Schluß ziehen. (Vgl. hierzu M. Planck, Phys. Z. 7, p. 757.) Hier ist nachgewiesen, daß das Kaufmannsche Beobachtungsmaterial keinen Schluß in dieser Hinsicht zuläßt, wie Kaufmann früher (Ann. 19, p. 490) geglaubt hatte.

21) cf. M. Abraham, Theorie d. El. II, p. 193.

22) Vgl. etwa hierzu: Heinrich Hertz, Ges. Werke III. p. 2 oder etwa F. Hausdorf, Das Raumproblem. Ann. d. Naturphilos., Bd. III.

23) Das Potential an der Oberfläche des Elektrons ergibt sich

aus Ladung und Radius. Der Radius berechnet sich nach Abraham l. c. für Volumladungen zu $r = 1,4 \cdot 10^{-13}$ cm. Hieraus:

$$\frac{e}{r} \sim 6 \cdot 10^5 \text{ Volt.}$$

24) cf. W. Kaufmann, Ann. d. Physik 19, p. 552, 1906.

25) Der einfache Ansatz ist:

$$\frac{m_{(0,5 \cdot v)} \cdot v^2 \cdot 0,5^2}{x} = \frac{e^2}{x^2},$$

also

$$x = \frac{e}{m_0\, {}^3/_4\, \psi(\beta)} \cdot e \cdot \frac{1}{0,5^2 \cdot v^2} = 6 \cdot 10^{-13} \text{ cm.}$$

Hierbei ist $\psi(\beta)$ nach der Abrahamschen Formel eingesetzt, weil diese das Beobachtungsmaterial, wie Kaufmann zeigte, am besten darstellt. v ist Lichtgeschwindigkeit; $m_{0,5v}$ = Masse bei der Geschwindigkeit von $0,5v$. Der Potentialfall zwischen zwei gleichen Elektronen würde demnach etwa gleich

$$\frac{12 \cdot 10^5}{(6 - 2,8) \cdot 10^{-13}} = 4 \cdot 10^{18} \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$$

betragen.

Es ist immerhin von Interesse, daß der Abstand im Polpaare nicht sehr beträchtlich von dem doppelten Radius des Elektrons abweicht, daß man also durch diese einfache Überlegung zur gleichen Größenordnung des Elektronenradius geführt wird, wie durch die Ansätze, welche auf Berechnung der Masse aus dem Quotienten, aus Kraft und Beschleunigung und der Annahme einer kugelförmigen Ladung beruhen. Denn nach unserem Ansatz ist

$$2r < 6 \cdot 10^{-13}$$

während oben sich ergab

$$2r = 2,8 \cdot 10^{-13}.$$

Außer der relativ geringförmigen Korrektion, die hier nach Abraham eingeführt wurde, sind nur Beobachtungsdaten benutzt.

Die hier erhaltene Größenordnung für den Abstand der Polpaare im Atom ist übrigens auch in guter Übereinstimmung mit einer dritten, völlig anderen Überlegung in der schönen Arbeit von Lenard, die oben erwähnt ist (Ann. 12, p. 738). Lenard berechnet den „Dynamidenradius" aus dem wahren absorbierenden Querschnitt, den er seinem Beobachtungsmaterial entnimmt: Für

Wasserstoff ist die Querschnittssumme Q der in 1 cm³ bei 1 mm Druck enthaltenen H_2-Moleküle = 13 cm², der wahre absorbierende (der Dynamiden-) Querschnitt q ist kleiner als $6 \cdot 10^{-7}$ cm². Ist $Q = N \cdot R^2\pi$, $q = 2r^2\pi \cdot N \cdot z$, wenn R den Molekularradius, r den wahren Dynamidenradius, N die Zahl der H_2-Moleküle, z die Zahl der Dynamide in einem Wasserstoffatom bedeutet, so ist

$$\frac{q}{Q} = \frac{2r^2 \cdot z}{R^2} < \frac{6 \cdot 10^{-7}}{13};$$

da $z \gtreqless 1$, so muß $r < 1,5 \cdot 10^{-4} R$ sein, oder weil R etwa $0,2 \cdot 10^{-6}$ mm ist,

$$2r < 6 \cdot 10^{-12} \text{ cm.}$$

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.